

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ БИЯДЕРНЫХ АРИЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СУРЬМЫ

В.В. Шарутин[✉]

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия
[✉] sharutin50@mail.ru

Аннотация. Методом рентгеноструктурного анализа (РСА) определено строение трех биядерных арильных соединений сурьмы $(Ar_3SbX)_2O$ ($Ar = Ph, X = Cl$ (1), $Ar = Ph, X = OC_6H_3(Cl-2)(F-4)$ (2), $Ar = 3-FC_6H_4, X = OSO_2CH_2CF_3$ (3)), РСА которых проводили на автоматическом четырехкружном дифрактометре D8 Quest Bruker (Mo $K\alpha$ -излучение, $\lambda = 0,71073 \text{ \AA}$, графитовый монохроматор) при 293 К. Кристаллы (1) $C_{36}H_{30}OCl_2Sb_2$, $M 793,00$; сингония моноклинная, группа симметрии $P2_1/n$; параметры ячейки: $a = 9,158(6)$, $b = 19,911(14)$, $c = 18,426(16) \text{ \AA}$; $\beta = 98,60(3)^\circ$, $V = 3322(4) \text{ \AA}^3$; $Z = 4$; $\rho_{\text{выч}} = 1,585 \text{ г/см}^3$; $2\theta 6,06\text{--}52$ град.; всего отражений 56802; независимых отражений 6507; число уточняемых параметров 371; $R_{\text{int}} = 0,0331$; $GOOF 1,136$; $R_1 = 0,0247$, $wR_2 = 0,0546$; остаточная электронная плотность (max/min); $0,49\text{--}0,53 \text{ е/\AA}^3$, (2) $C_{48}H_{36}O_3F_2Cl_2Sb_2$ $M 1013,17$; сингония моноклинная, группа симметрии $P2_1$; параметры ячейки: $a = 11,694(10)$, $b = 12,754(8)$, $c = 14,487(11) \text{ \AA}$; $\beta = 90,16(4) \text{ град.}$, $V = 2161(3) \text{ \AA}^3$, $Z = 2$; $\rho_{\text{выч}} = 1,557 \text{ г/см}^3$; $2\theta 5,62\text{--}71,84$ град.; всего отражений 91787; независимых отражений 11155; число уточняемых параметров 514; $R_{\text{int}} = 0,0401$; $GOOF 1,033$; $R_1 = 0,0307$, $wR_2 = 0,0757$; остаточная электронная плотность (max/min); $0,49\text{--}1,46 \text{ е/\AA}^3$, (3) $C_{40}H_{28}O_7F_{12}S_2Sb_2$, $M 1156,31$; сингония триклинная, группа симметрии $P-1$; параметры ячейки: $a = 10,946(5)$, $b = 20,130(10)$, $c = 20,282(12) \text{ \AA}$; $\alpha = 76,57(3)^\circ$, $\beta = 78,284(18)^\circ$, $\gamma = 89,672(17)^\circ$; $V = 4252(4) \text{ \AA}^3$, $Z = 2$; $\rho_{\text{выч}} = 1,689 \text{ г/см}^3$; $2\theta 5,762\text{--}52,138$ град.; всего отражений 93721; независимых отражений 16665; число уточняемых параметров 1113; $R_{\text{int}} = 0,0548$; $GOOF 1,048$; $R_1 = 0,0426$, $wR_2 = 0,1088$; остаточная электронная плотность (max/min): $1,01\text{--}0,60 \text{ е/\AA}^3$.

Ключевые слова: строение, биядерный, арильный, соединение, сурьма, рентгеноструктурный анализ

Для цитирования: Шарутин В.В. Особенности строения биядерных арильных соединений сурьмы // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2024. Т. 16, № 4. С. 86–94. DOI: 10.14529/chem240407

Original article
DOI: 10.14529/chem240407

STRUCTURAL FEATURES OF BINUCLEAR ARYL COMPOUNDS OF ANTIMONY

V.V. Sharutin[✉]

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia
[✉] sharutin50@mail.ru

Abstract. The structures of three binuclear aryl compounds of antimony $(Ar_3SbX)_2O$ ($Ar = Ph, X = Cl$ (1), $Ar = Ph, X = OC_6H_3(Cl-2)(F-4)$ (2), $Ar = 3-FC_6H_4, X = OSO_2CH_2CF_3$ (3)) were determined by X-ray diffraction analysis. Crystal (1): $C_{36}H_{30}OCl_2Sb_2$, $M 793.00$; monoclinic system, symmetry group $P2_1/n$; cell parameters: $a = 9.158(6)$, $b = 19.911(14)$, $c = 18.426(16) \text{ \AA}$; $\beta = 98.60(3)^\circ$, $V = 3322(4) \text{ \AA}^3$; $Z = 4$, $\rho_{\text{cal}} = 1.585 \text{ g/cm}^3$; $2\theta 6.06\text{--}52 \text{ deg}$; total reflections 56802; independent reflections 6507; number of refined parameters 371; $R_{\text{int}} = 0.0331$; $R_1 = 0.0247$, $wR_2 = 0.0546$; residual electron density (max/min): $0.49\text{--}0.53 \text{ e/\AA}^3$; (2): $C_{48}H_{36}O_3F_2Cl_2Sb_2$ $M 1013.17$; symmetry group $P2_1$; cell parameters: $a = 11.694(10)$, $b = 12.754(8)$, $c = 14.487(11) \text{ \AA}$; $V = 2161(3) \text{ \AA}^3$, $Z = 2$; $\rho_{\text{cal}} = 1.557 \text{ g/cm}^3$; $2\theta 5.62\text{--}71.84 \text{ deg}$; total reflections 91787; independent reflections 11155; number of specified parameters 514; $R_{\text{int}} = 0.0401$; $GOOF 1.033$; $R_1 = 0.0307$, $wR_2 = 0.0757$; residual electron density (max/min): $0.49\text{--}1.46 \text{ e/\AA}^3$; (3) $C_{40}H_{28}O_7F_{12}S_2Sb_2$,

M 1156.31; triclinic system, symmetry group *P*-1; cell parameters: *a* = 10.946(5), *b* = 20.130(10), *c* = 20.282(12) Å; α = 76.57(3)°, β = 78.284(18)°, γ = 89.672(17)°; *V* = 4252(4) Å³, *Z* = 2; ρ_{cal} = 1.689 g/cm³; 2θ 5.762–52.138 deg; total reflections 93721; independent reflections 16665; number of specified parameters 1113; *R*_{int} = 0.0548; *GOOF* 1.048; *R*₁ = 0.0426, *wR*₂ = 0.1088; residual electron density (max/min): 1.01/–0.60 e/Å³].

Keywords: structure, binuclear, aryl, compound, antimony, X-ray diffraction analysis

For citation: Sharutin V.V. Structural features of binuclear aryl compounds of antimony. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chem.* 2024;16(4):86–94. (In Russ.) DOI: 10.14529/chem240407

Введение

При появлении в Южно-Уральском государственном университете современного дифрактометра D8 Quest возможность определения кристаллических структур органических, неорганических, координационных и элементоорганических соединений неизмеримо возросла, поэтому представлялось возможным определить строение многих синтезируемых в лаборатории химии элементоорганических соединений. В продолжение изучения строения элементоорганических производных и их синтонов [1–72] в настоящей работе исследовано строение трех биядерных арильных соединений сурьмы.

К настоящему времени методом рентгеноструктурного анализа установлено строение широкого ряда комплексов сурьмы общей формулы (Ar₃SbX)₂O (X = Hlg, NO₃, OC(O)R, OR, OSO₂R и другие электроотрицательные группы), атомы сурьмы в которых имеют искаженную тригонально-бипирамидальную координацию с мостиковым атомом кислорода и монодентатным лигандом X в аксиальных положениях, а в экваториальной плоскости располагаются арильные заместители [73–105]. Некоторые молекулы (Ar₃SbX)₂O являются центросимметричными (центр симметрии – мостиковый атом кислорода), в других – два фрагмента Ar₃SbX несколько отличаются друг от друга. Искажение тригонально-бипирамидальной конфигурации молекул проявляется в отклонении валентных углов от теоретических значений и выходе атомов сурьмы из экваториальной плоскости к мостиковому атому кислорода. Расстояния SbX в μ -оксопроизводных (Ar₃SbX)₂O значительно меньше аналогичных связей в соединениях общей формулы Ar₄SbX и немного больше, чем в соединениях Ar₃SbX₂. Длины связей между атомами сурьмы и мостиковым атомом кислорода Sb–O_{мост} меньше суммы ковалентных радиусов атомов сурьмы и кислорода (2,07 Å [106]). Основное различие в геометрии молекул этих соединений заключается в строении фрагмента Sb–O–Sb. В большинстве случаев фрагменты имеют угловую форму и лишь иногда – линейную. Величина угла SbOSb, который изменяется от 130 до 180°, и причины, вызывающие его изменение, являются предметом дискуссии в работах последних лет. В настоящей работе проанализированы основные геометрические параметры неизвестных ранее молекул указанного типа **1–3** [(Ar₃SbX)₂O (Ar = Ph, X = Cl (**1**), Ar = Ph, X = OC₆H₃(Cl-2)(F-4) (**2**), Ar = 3-FC₆H₄, X = OSO₂CH₂CF₃ (**3**)).

Экспериментальная часть

В работе использовали органические соединения производства фирмы Alfa Aesar, соединения **1–3** получали по реакции окислительного присоединения, описанной в монографии [107].

РСА кристаллов **1–3** проведен на дифрактометре D8 Quest фирмы Bruker (MoK α -излучение, λ = 0,71073 Å, графитовый монохроматор) при 296(2) К. Сбор, редактирование данных и уточнение параметров элементарной ячейки, а также учет поглощения проведены по программам SMART и SAINT-Plus [108]. Все расчеты по определению и уточнению структуры выполнены по программам SHELXL/PC [109] и OLEX2 [110]. Структуры определены прямым методом и уточнены методом наименьших квадратов в анизотропном приближении для неводородных атомов. Основные кристаллографические данные и результаты уточнения структур **1–3** приведены в табл. 1, основные длины связей и валентные углы – в табл. 2. Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов депонированы в Кембриджском банке структурных данных (№ 1913589 (**1**), № 1971835 (**2**), № 2063136 (**3**); deposit@ccdc.cam.ac.uk;

http://www.ccdc.cam.ac.uk). Основные кристаллографические данные и результаты уточнения структур **1–3** приведены в табл. 1, длины связей и валентные углы – в табл. 2.

Таблица 1
Кристаллографические данные, параметры эксперимента и уточнения структур **1–3**

Параметр	1	2	3
Формула	C ₃₆ H ₃₀ OCl ₂ Sb ₂	C ₄₈ H ₃₆ O ₃ F ₂ Cl ₂ Sb ₂	C ₈₄ H ₅₆ F ₂₄ O ₁₀ Sb
<i>M</i>	793,00	1013,17	2164,28
Сингония	Моноклинная	Моноклинная	Триклинная
Пр. группа	<i>P</i> 2 ₁ / <i>n</i>	<i>P</i> 2 ₁	<i>P</i> -1
<i>a</i> , Å	9,158(6)	11,694(10)	10,946(5)
<i>b</i> , Å	19,911(14)	12,754(8)	20,130(10)
<i>c</i> , Å	18,426(16)	14,487(11)	20,282(12)
α, град.	90,00	90,00	76,57(3)
β, град.	98,60(3)	90,16(4)	78,284(18)
γ, град.	90,00	90,00	89,672(17)
<i>V</i> , Å ³	3322(4)	2161(3)	4252(4)
<i>Z</i>	4	2	2
ρ _{выч.} , г/см ³	1,585	1,557	1,689
μ, мм ⁻¹	1,813	1,423	1,366
<i>F</i> (000)	1560,0	1004,0	2114,0
Размер кристалла, мм	0,32×0,2×0,07	0,34×0,22×0,2	0,23×0,2×0,03
Область сбора данных по 2θ, град.	6,06–52	5,62–71,84	5,762–52,138
Интервалы индексов отражений	-11 ≤ <i>h</i> ≤ 11, -24 ≤ <i>k</i> ≤ 24, -22 ≤ <i>l</i> ≤ 22	-19 ≤ <i>h</i> ≤ 19, -15 ≤ <i>k</i> ≤ 15, -17 ≤ <i>l</i> ≤ 17	-13 ≤ <i>h</i> ≤ 13, -24 ≤ <i>k</i> ≤ 24, -24 ≤ <i>l</i> ≤ 24
Измерено отражений	56802	91787	93721
Независимых отражений	6507	11155	16665
Переменных уточнения	371	514	1113
<i>GOOF</i>	1,136	1,033	1,048
<i>R</i> -факторы по <i>F</i> ² > 2σ(<i>F</i> ²)	<i>R</i> ₁ = 0,0247, <i>wR</i> ₂ = 0,0546	<i>R</i> ₁ = 0,0307, <i>wR</i> ₂ = 0,799	<i>R</i> ₁ = 0,0426, <i>wR</i> ₂ = 0,1088
<i>R</i> -факторы по всем отражениям	<i>R</i> ₁ = 0,0327, <i>wR</i> ₂ = 0,0590	<i>R</i> ₁ = 0,0378, <i>wR</i> ₂ = 0,0799	<i>R</i> ₁ = 0,0732, <i>wR</i> ₂ = 0,1276
Остаточная электронная плотность (min/max), e/Å ³	0,49/-0,53	0,49/-1,46	1,01/-0,60

Таблица 2
Длины связей и валентные углы в структурах **1–3**

Связь	<i>d</i> , Å	Угол	ω, град.
1			
Sb1–O1	1,957(2)	O1–Sb1–Cl1	173,56(7)
Sb1–C21	2,129(3)	Cl1–Sb1–C21	117,59(13)
Sb1–C1	2,115(3)	Cl1–Sb1–C11	124,62(12)
Sb1–C11	2,121(3)	C11–Sb1–C21	117,33(12)
Sb1–Cl1	2,5731(16)	O1–Sb2–Cl2	177,26(7)
Sb2–O1	1,973(2)	C51–Sb2–C31	121,48(12)
Sb2–C51	2,112(3)	C41–Sb2–C51	124,81(12)
Sb2–C41	2,108(3)	C41–Sb2–C31	113,30(12)
Sb2–C31	2,117(3)	C41–Sb2–Cl2	87,11(9)
Sb2–Cl2	2,5577(16)	Sb1–O1–Sb2	173,68(7)
2			
Sb1–O3	2,031(3)	O3–Sb1–O1	178,31(11)
Sb1–C21	1,883(4)	O3–Sb1–C1	104,31(13)
Sb1–O1	2,186(3)	C21–Sb1–C1	116,98(17)

Окончание табл. 2

Связь	d , Å	Угол	ω , град.
Sb1–C1	2,275(4)	C21–Sb1–C11	114,43(16)
Sb1–C26	2,539(4)	C11–Sb1–C1	128,05(14)
Sb1–C11	2,270(4)	C11–Sb1–C26	125,59(14)
Sb2–O3	2,033(3)	O3–Sb2–O2	178,33(11)
Sb2–O2	2,186(3)	O3–Sb2–C51	104,53(13)
Sb2–C51	2,271(4)	C41–Sb2–C51	128,21(14)
Sb2–C41	2,267(4)	C41–Sb2–C66	125,83(14)
Sb2–C61	1,882(3)	C61–Sb2–C51	116,38(16)
Sb2–C66	2,540(4)	Sb1–O3–Sb2	141,95(17)
3			
Sb1–O1	1,988(3)	O1–Sb1–O2	177,75(14)
Sb1–O2	2,147(3)	C1–Sb1–C21	124,9(2)
Sb1–C1	2,116(6)	C11–Sb1–C1	113,5(2)
Sb1–C21	2,116(5)	C11–Sb1–C21	120,7(2)
Sb1–C11	2,101(5)	O1–Sb2–O4	178,35(13)
Sb2–O1	1,983(3)	C41–Sb2–C51	117,3(2)
Sb2–O4	2,196(4)	C31–Sb2–C41	127,0(2)
Sb2–C41	2,111(5)	C31–Sb2–C51	114,1(2)
Sb2–C51	2,116(5)	O6–Sb3–O7	176,66(17)
Sb2–C31	2,111(6)	C81–Sb3–C61	115,5(2)
Sb3–O6	1,978(4)	C81–Sb3–C71	129,1(2)
Sb3–O7	2,149(4)	C61–Sb3–C71	115,0(2)
Sb3–C81	2,097(4)	O6–Sb4–O9	176,78(17)
Sb3–C61	2,103(6)	C91–Sb4–C101	118,0(3)
Sb3–C71	2,117(6)	C111–Sb4–C101	122,4(2)
Sb4–O9	2,190(5)	C111–Sb4–C91	118,9(2)
Sb4–O6	1,974(4)	C7–O2–Sb1	116,3(3)
Sb4–C101	2,105(6)	C47–O4–Sb2	117,2(4)
Sb4–C91	2,104(6)	Sb1–O1–Sb2	141,06(19)
Sb4–C111	2,103(3)	Sb3–O6–Sb4	149,1(2)

Обсуждение результатов

За время работы монокристалльного дифрактометра D8 Quest в лаборатории химии элементоорганических соединений ЮУрГУ (2012–2024) были исследованы структуры более 2000 органических, неорганических, координационных и элементоорганических соединений. По этим результатам было опубликовано в научных журналах более 500 статей, среди которых можно выделить наиболее важные за последние три года [1–72]. Одними из самых изученных, например, производных пятивалентной сурьмы являются их биядерные соединения $[\text{Ar}_3\text{SbOC}(\text{O})\text{R}]_2\text{O}$ [73–105], основное различие геометрии молекул которых заключается в строении фрагмента Sb–O–Sb. В большинстве случаев фрагменты имеют угловую форму и лишь иногда линейную. Также известны кристаллы, в ячейках которых одновременно присутствуют молекулы $(\text{Ar}_3\text{SbX})_2\text{O}$ ($\text{Ar} = \text{Ph}$, $p\text{-Tol}$; $\text{X} = \text{CH}_2\text{Cl}$, CH_2Br) с угловым и линейным центральными фрагментами [111]. Факторы, влияющие на величину угла при мостиковом атоме кислорода, не выяснены, и нельзя спрогнозировать, линейную или угловую форму будет иметь фрагмент Sb–O–Sb той или другой молекулы, однако исследование структур данного типа может позволить определить какие-либо закономерности в производных указанного типа. В настоящей работе определено строение трех неизвестных ранее биядерных арильных соединений сурьмы, представляющих интерес для получения иных комплексов пятивалентной сурьмы.

По данным РСА следует, что кристаллы комплексов **1–3** состоят из биядерных молекул с угловым фрагментом Sb–O–Sb (рис. 1–3), причем в кристалле **3** присутствуют два типа кристаллографически независимых молекул, в которых значения угла SbOSb значительно отличаются между собой ($141,06(19)^\circ$ и $149,1(2)^\circ$).

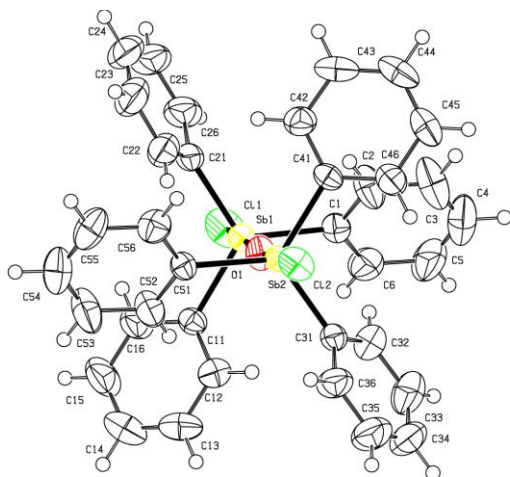


Рис. 1. Общий вид комплекса 1

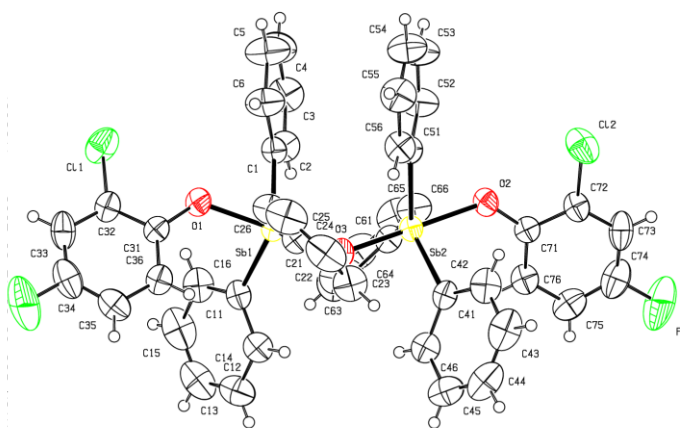


Рис. 2. Общий вид комплекса 2

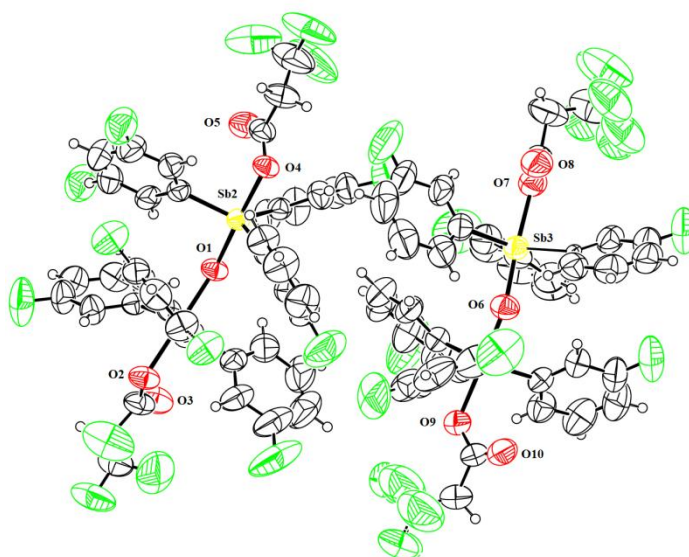


Рис. 3. Общий вид комплекса 3

Длины связей и значения валентных углов в структурах соединений 1–3 близки к наблюдаемым в аналогичных известных структурах [76].

Выводы

Методом рентгеноструктурного анализа определено строение трех биядерных арильных соединений сурьмы углового строения, в кристалле последнего из которых $[(3\text{-FC}_6\text{H}_4)_3\text{SbOSO}_2\text{CH}_2\text{CF}_3]_2\text{O}$ присутствуют два типа кристаллографически независимых молекул с разными значениями угла SbOSb ($141,06(19)^\circ$ и $149,1(2)^\circ$).

Список источников

1. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Gubanova Y.O. et al. // *Mendeleev Commun.* 2020. V. 30, No. 1. P. 97. DOI: 10.1016/j.mencom.2020.01
2. Svistunova I.V., Tretyakova G.O., Pyzyrkov X.N., Sharutin V.V. // *Inorg. Chim. Acta.* 2020. V. 501. P. 119230. DOI: 10.1016/j.ica.2019.119230
3. Брегадзе В.И., Глазун С.А., Ефремов А.Н., Шарутин В.В. // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия».* 2020. Т. 12, № 1. С. 5. DOI: 10.14529/chem200101
4. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Ефремов А.Н. // *Журн. неорган. химии.* 2020. Т. 65, № 1. С. 49. DOI: 10.31857/S0044457X20010158
5. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Novikov A.S., Adonin S.A. // *New J. Chem.* 2020. V. 44. P. 14339. DOI: 10.1039/d0nj02774j

6. Шарутин В.В. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2020. Т. 12, № 2. С. 74. DOI: 10.14529/chem200208
7. Шарутин В.В. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2020. Т. 12, № 4. С. 79. DOI: 10.14529/chem200405
8. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Ефремов А.Н. // Журн. структ. химии. 2020. Т. 61, № 9. С. 1490. DOI: 10.26902/JSC_id60682
9. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Тарасова Н.М. и др. // Известия Академии наук. Серия химическая. 2020. № 10. С. 1892. EDN: QOVSSF
10. Сенчуринов В.С., Шарутин В.В., Шарутина О.К. // Журн. структ. химии. 2021. Т. 62, № 10. С. 1673. DOI: 10.26902/JSC_id80788
11. Ефремов А.Н., Шарутин В.В., Шарутина О.К. // Журн. структ. химии. 2021. Т. 62, № 12. С. 2084. DOI: 10.26902/JSC_id84811
12. Зыкова А.Р., Шарутин В.В., Шарутина О.К. // Журн. неорган. химии. 2021. Т. 66, № 1. С. 63. DOI: 10.31857/S0044457X21010141
13. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Коцеева Л.В. // Журн. неорган. химии. 2021. Т. 66, № 10. С. 1407. DOI: 10.31857/S0044457X21100160
14. Шарутин В.В., Шарутина О.К. // Журн. неорган. химии. 2021. Т. 66, № 3. С. 358. DOI: 10.31857/S0044457X21030156
15. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Тарасова Н.М., Ельцов О.С. // Журн. общ. химии. 2021. Т. 91, № 11. С. 1716. DOI: 10.31857/S0044460X21110081
16. Шарутин В.В., Шарутина О.К. // Журн. общ. химии. 2021. Т. 91, № 4. С. 598. DOI: 10.31857/S0044460X21040156
17. Шарутин В.В., Шарутина О.К. // Журн. общ. химии. 2021. Т. 91, № 5. С. 752. DOI: 10.31857/S0044460X21050127
18. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Коцеева Л.В. // Журн. общ. химии. 2021. Т. 91, № 5. С. 758. DOI: 10.31857/S0044460X21050139
19. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сопшина Д.М. // Журн. общ. химии. 2021. Т. 91, № 9. С. 1438. DOI: 10.31857/S0044460X21090158
20. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Хайбуллина О.А. // Журн. общ. химии. 2021. Т. 91, № 9. С. 1446. DOI: 10.31857/S0044460X2109016X
21. Шевченко Д.П., Хабина А.Е., Шарутин В.В. и др. // Изв. Академии наук. Серия хим. 2021. № 10. С. 1946. EDN: LYGGTO
22. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Ефремов А.Н. // Коорд. химия. 2021. Т. 47, № 5. С. 293. DOI: 10.31857/S0132344X21050066
23. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Ефремов А.Н. // Коорд. химия. 2021. Т. 47, № 6. С. 356. DOI: 10.31857/S0132344X21060074
24. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Ефремов А.Н. // Коорд. химия. 2021. Т. 47, № 9. С. 568. DOI: 10.31857/S0132344X21070057
25. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Попкова М.А., Жеребцов Д.А. // Башкирский химический журнал. 2021. Т. 28, № 1. С. 68. DOI: 10.17122/bcj_2021_1_68_73
26. Ефремов А.Н., Шарутин В.В. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2021. Т. 13, № 1. С. 47. DOI: 10.14529/chem210105
27. Шарутин В.В. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2021. Т. 13, № 2. С. 5. DOI: 10.14529/chem210201
28. Шарутин В.В. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2021. Т. 13, № 3. С. 5. DOI: 10.14529/chem210301
29. Попкова М.А., Шарутин В.В. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2021. Т. 13, № 4. С. 110. DOI: 10.14529/chem210409
30. Ефремов А.Н., Шарутин В.В. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2021. Т. 13, № 4. С. 120. DOI: 10.14529/chem210410
31. Шарутин В.В. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2021. Т. 13, № 4. С. 55. DOI: 10.14529/chem210403
32. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Механошина Е.С. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2022. Т. 14, № 2. С. 41. DOI: 10.14529/chem220205

33. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Механошина Е.С. // Журн. структурной химии. 2022. Т. 63, № 10. С. 99532. DOI: 10.26902/JSC_id99532
34. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Механошина Е.С. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2022. Т. 14, № 2. С. 41. DOI: 10.14529/chem220205
35. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Механошина Е.С. // Журн. общ. химии. 2022. Т. 92, № 6. С. 885. DOI: 10.31857/S0044460X22060087
36. Artem'eva E.V., Efremov A.N., Sharutina O.K., Sharutin V.V. et al. // Polyhedron. 2022. Т. 213. С. 115627. DOI: 10.1016/j.poly.2021.115627
37. Artem'eva E.V., Efremov A.N., Sharutina O.K., Sharutin V.V. et al. // J. Inorg. Biochem. 2022. Т. 234. С. 111864. DOI: 10.1016/j.jinorgbio.2022.111864
38. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Efremov A.N., Adonin S.A. // Mendeleev Commun. 2022. V. 32, No. 1. P. 109. DOI: 10.1016/j.mencom.2022.01.035
39. Pupkova Y.O., Sharutin V.V., Sharutina O.K. et al. // Mendeleev Commun. 2022. V. 32, No. 3. P. 377. DOI: 10.1016/j.mencom.2022.05.028
40. Жеребцов Д.А., Шарутин В.В., Полозов М.А. и др. // Журн. структ. химии. 2022. Т. 63, № 11. С. 102097. DOI: 10.26902/JSC_id102097
41. Ефремов А.Н., Шарутин В.В., Шарутина О.К. // Журн. структ. химии. 2022. Т. 63, № 3. С. 261. DOI: 10.26902/JSC_id88696
42. Раджакумар К., Шарутин В.В., Адонин С.А. и др. // Журн. структ. химии. 2022. Т. 63, № 4. С. 504. DOI: 10.26902/JSC_id90869
43. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сенчурин В.С., Красносельская В.В. // Журн. неорган. химии. 2022. Т. 67, № 12. С. 1773. DOI: 10.31857/S0044457X22600803
44. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Ефремов А.Н. // Журн. неорган. химии. 2022. Т. 67, № 8. С. 1151. DOI: 10.31857/S0044457X22080244
45. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Механошина Е.С. // Журн. общ. химии. 2022. Т. 92, № 12. С. 1957. DOI: 10.31857/S0044460X22120174
46. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Ефремов А.Н. // Журн. общ. химии. 2022. Т. 92, № 2. С. 304. DOI: 10.31857/S0044460X22020172
47. Шевченко Д.П., Шарутин В.В., Шарутина О.К. // Журн. общ. химии. 2022. Т. 92, № 5. С. 799. DOI: 10.31857/S0044460X22050158
48. Шарутин В.В., Шарутина О.К. // Журн. общ. химии. 2022. Т. 92, № 5. С. 812. DOI: 10.31857/S0044460X22050171
49. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Механошина Е.С. // Журн. общ. химии. 2022. Т. 92, № 6. С. 885. DOI: 10.31857/S0044460X22060087
50. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сенчурин В.С. // Журн. общ. химии. 2022. Т. 92, № 7. С. 1152. DOI: 10.31857/S0044460X22070204
51. Шарутин В.В., Потемкин В.А., Ефремов А.Н. и др. // Известия Академии наук. Серия химическая. 2022. Т. 71, № 4. С. 707. EDN: KTJZZJ
52. Шевченко Д.П., Хабина А.Е., Шарутин В.В. и др. // Коорд. химия. 2022. Т. 48, № 1. С. 29. DOI: 10.31857/S0132344X22010054
53. Шарутин В.В., Шарутина О.К. // Коорд. химия. 2022. Т. 48, № 1. С. 57. DOI: 10.31857/S0132344X22010042
54. Шарутин В.В., Шарутина О.К. // Коорд. химия. 2022. Т. 48, № 3. С. 178. DOI: 10.31857/S0132344X22030033
55. Шарутин В.В., Шарутина О.К. // Коорд. химия. 2022. Т. 48, № 6. С. 352. DOI: 10.31857/S0132344X22060056
56. Шарутин В.В., Шарутина О.К. // Коорд. химия. 2022. Т. 48, № 5. С. 314. DOI: 10.31857/S0132344X22050085
57. Зыкова А.Р., Шарутин В.В., Шарутина О.К., Ельцов О.С. // Коорд. химия. 2022. Т. 48, № 6. С. 370. DOI: 10.31857/S0132344X22060081
58. Пупкова Ю.О., Шарутин В.В., Шарутина О.К., Фоминых А.С. // Коорд. химия. 2022. Т. 48, № 8. С. 506. DOI: 10.31857/S0132344X22080059
59. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сенчурин В.С. // Коорд. химия. 2022. Т. 48, № 9. С. 566. DOI: 10.31857/S0132344X22090055

60. Жеребцов Д.А., Шарутин В.В., Найферт С.А. и др. // Кристаллография. 2022. Т. 67, № 3. С. 399. DOI: 10.31857/S0023476122030274
61. Шарутин В.В., Сенчурин В.С. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2022. Т. 14, № 1. С. 17. DOI: 10.14529/chem220102
62. Ефремов А.Н., Шарутин В.В. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2022. Т. 14, № 1. С. 5. DOI: 10.14529/chem220101
63. Ефремов А.Н., Шарутин В.В. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2022. Т. 14, № 2. С. 14. DOI: 10.14529/chem220202
64. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Механошина Е.С. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2022. Т. 14, № 2. С. 41. DOI: 10.14529/chem220205
65. Шарутин В.В., Головин М.С. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2022. Т. 14, № 2. С. 5. DOI: 10.14529/chem220201
66. Шарутин В.В., Сенчурин В.С. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2022. Т. 14, № 2. С. 52. DOI: 10.14529/chem220206
67. Шевченко Д.П., Шарутин В.В. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2022. Т. 14, № 2. С. 62. DOI: 10.14529/chem220207
68. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Рыбакова А.В., Ельцов О.С. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2022. Т. 14, № 2. С. 90. DOI: 10.14529/chem220210
69. Ефремов А.Н., Шарутин В.В. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2022. Т. 14, № 3. С. 34. DOI: 10.14529/chem220304
70. Шарутин В.В. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2022. Т. 14, № 3. С. 5. DOI: 10.14529/chem220301
71. Механошина Е.С. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2023. Т. 15, № 1. С. 31. DOI: 10.14529/chem230103
72. Механошина Е.С. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2023. Т. 15, № 2. С. 55. DOI: 10.14529/chem230204
73. Grigsby E.W.J., Hart R.D., Raston C.L. et al. // Aust. J. Chem. 1997. V. 50, No. 6. P. 675. DOI: 10.1071/C96042
74. Tiekink E.R.T. // J. Organomet. Chem. 1987. V. 333, No. 2. P. 199. DOI: 10.1016/0022-328X(87)85152-5
75. Ouchi A., Sato S. // Bull. Chem. Soc. Jap. 1988. V. 61, No. 5. P. 1806. DOI: 10.1246/bcsj.61.1806
76. Шарутин В.В., Пакурина А.П., Насонова Н.В. и др. // Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения. 2002. Т. 3, № 11. С. 13. EDN: GZCCWA
77. Шарутин В.В., Пакурина А.П., Егорова И.В. и др. // Коорд. химия. 2008. Т. 34, № 3. С. 181. EDN: IJKFJX
78. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Пакурина А.П., Смирнова С.А. // Журн. неорган. химии. 2009. Т. 54, № 10. С. 1705. EDN: KWIUSL
79. Gibbons M.N., Blake A.J., Sowerby D.B. // J. Organomet. Chem. 1997. V. 543, No. 2. P. 217. DOI: 10.1016/S0022-328X(97)00208-8
80. Шарутин В.В., Пакурина А.П., Насонова Н.В. и др. // Коорд. химия. 2002. Т. 28, № 7. С. 506. EDN: ZATRQY
81. Balazs L., Breunig H.J., Gheshler I., Lork E. // J. Organometal. Chem. 2002. V. 648, No. 1. P. 33. DOI: 10.1016/S0022-328X(01)01467-X
82. Taylor M.J., Baker L.-J., Rickard C.E.F., Surman P.W.J. // J. Organomet. Chem. 1995. V. 498, No. 1. P. C14. DOI: 10.1016/0022-328X(95)05555-4
83. Bordner J., Andrews B.C., Long G.G. // Cryst. Struct. Comm. 1974. V. 3, No. 1. P. 53.
84. Ferguson G., Ridley D.R. // Acta crystallogr. 1973. V. B29, No. 10. P. 2221. DOI: 10.1107/S0567740873006370
85. Старикова З.А., Щеголева Т.М., Трунов В.К., Покровская И.Е. // Кристаллография. 1978. Т. 23, № 5. С. 969.
86. Шарутин В.В., Пакурина А.П., Пушилин М.А. и др. // Журн. общ. химии. 2003. Т. 73, № 4. С. 573. EDN: OYUUKB
87. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Пакурина А.П., Смирнова С.А. // Бутлеровские сообщения. 2011. Т. 27, № 14. С. 36. EDN: OWHRWH

88. *Breneman G.L.* // Acta Crystallogr. 1979. V. 35B. P. 731. DOI: 10.1107/S0567740879004581
89. *Gibbons M.N., Sowerby D.B.* // J. Organomet. Chem. 1998. V. 555, No. 2. P. 271. DOI: 10.1016/S0022-328X(97)00759-6
90. *Grigsby E.W.J., Hart R.D., Raston C.L. et al.* // Aust. J. Chem. 1997. V. 50, No. 6. P. 675. DOI: 10.1071/C96042
91. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Панова Л.П. и др.* // Изв. РАН. Сер. хим. 1999. № 1. С. 174. EDN: LFSWCL
92. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Панова Л.П. и др.* // Журн. общ. химии. 2002. Т. 72, № 1. С. 45. EDN: WXQSKQ
93. *Шарутин В.В., Пакусина А.П., Платонова Т.П. и др.* // Журн. общ. химии. 2004. Т. 74, № 2. С. 238. EDN: PBCRSL
94. *Шарутин В.В., Егорова И.В., Павлушкина И.И. и др.* // Коорд. химия. 2003. Т. 29, № 2. С. 89. EDN: OOFNXZ
95. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Насонова Н.В. и др.* // Изв. РАН. Сер. хим. 1999. № 12. С. 2346. EDN: SFWPCR
96. *Preut H., Ruther R., Huber F.* // Acta Crystallogr. 1986. V. C42, No. 9. P. 1154. DOI: 10.1107/S010827018609306X
97. *Ruther R., Huber F., Preut H.* // J. Organomet. Chem. 1988. V. 342, No. 2. P.185. DOI: 10.1016/S0022-328X(00)99456-7
98. *Шарутин В.В., Шарутина О.К.* // Бутлеровские сообщения. 2012. Т. 31, № 9. С. 86. EDN: PWSSIN
99. *Шарутин В.В., Сенчурин В.С., Шарутина О.К.* // Бутлеровские сообщения. 2013. Т. 33, № 2. С. 55. EDN: PYLMFR
100. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сенчурин В.С.* // Бутлеровские сообщения. 2013. Т. 36, № 11. С. 83. EDN: RVKCBX
101. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сенчурин В.С., Шепелева О.В.* // Бутлеровские сообщения. 2013. Т.36, №10. С. 52. EDN: RURAEB
102. *Шарутин В.В., Шарутина О.К.* // Бутлеровские сообщения. 2014. Т. 38, № 6. С. 135. EDN: TAMRSN
103. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сенчурин В.С., Сомов Н.В.* // Бутлеровские сообщения. 2014. Т. 39, № 7. С. 132. EDN: TOLOXX
104. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сомов Н.В.* // Бутлеровские сообщения. 2014. Т. 39, № 7. С. 145. EDN: TOLOXX
105. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сомов Н.В.* // Бутлеровские сообщения. 2014. Т. 39, № 7. С. 148. EDN: TOLOZV
106. *Cordero B., Gómez V., Platero-Prats A.E. et al.* // Dalton Trans. 2008. V. 21. P. 2832. DOI: 10.1039/B801115J
107. *Кочешков К.А., Сколдинов А.П., Землянский Н.Н.* Методы элементоорганической химии. Сурьма, висмут. М.: Наука, 1976. 483 с.
108. Bruker. SMART and SAINT-Plus. Versions 5.0. Data Collection and Processing Software for the SMART System. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1998.
109. Bruker. SHELXTL/PC. Versions 5.10. An Integrated System for Solving, Refining and Displaying Crystal Structures from Diffraction Data. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1998.
110. *Dolomanov O.V., Bourhis L.J., Gildea R.J. et al.* // J. Appl. Cryst. 2009. V. 42. P. 339. DOI: 10.1107/S0021889808042726
111. *Ефремов А.Н.* Синтез и особенности строения производных сурьмы(V) с заместителями в арильных лигандах: дис. ... канд. хим. наук. Владивосток, 2023. 208 с.

Шарутин Владимир Викторович – доктор химических наук, профессор, главный научный сотрудник управления научной и инновационной деятельности, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия. E-mail: sharutin50@mail.ru

*Статья поступила в редакцию 25 июня 2024 года.
The article was submitted 25 June 2024.*